

CARACTERISATION MINERALOGIQUE ET PHYSICO-CHIMIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES SOUS NUMIDIENNES DE LA REGION D'AZZABA (NE ALGERIE)

MINERALOGICAL AND PHYSIC-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF UNDER-NUMIDIAN CLAY FORMATIONS IN THE AZZABA REGION (NE ALGERIA)

IBTISSEM CHOUAF^(1,2), BACHIR LAMOURI^(1,3), LAKHDAR BOUABSA⁽¹⁾, ABDELMADJID CHOUABBI⁽¹⁾, NATALIE FAGEL⁽⁴⁾

⁽¹⁾Laboratoire Géodynamique et Ressources Naturelles (LGRN), Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, Université Badji Mokhtar – Annaba.

⁽²⁾Institut d'architecture et des sciences de la terre, Faculté des sciences de la terre et de l'univers, Université Ferhat Abbas Sétif

⁽³⁾Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Faculté des sciences exactes, des sciences de la nature et de la vie, Université Mohamed Kheider- Biskra.

⁽⁴⁾Unité de Recherche Argiles, Géochimie et Environnements sédimentaires (AGES), Département de Géologie, Université de Liège – Belgique.

RESUME

Cette étude porte sur la caractérisation minéralogique et physicochimique des formations argileuses sous numidiennes de la région d'Azzaba (NE Algérien). Pour cela une opération d'échantillonnage a été effectuée le long d'un itinéraire d'environ 20Km, débutant d'Ain Charchar vers l'Est jusqu'à Ramdane Djamel vers l'Ouest. Les échantillons récoltés à partir des carottes des sondages ont été traités et analysés par les méthodes analytiques classiques de caractérisation des argiles et minéraux argileux à savoir, la diffraction des rayons X (XRD), Fluorescence X (XRF), Microscopie Electronique à Balayage (MEB), Spectroscopie Infrarouge (IR) ainsi que des essais géotechniques (granulométrie, limites d'Atterberg et gonflement).

Les résultats obtenus à travers tous les sites ont révélé que ces formations sont très riches en fraction argileuse (30 à 60 %) représentée essentiellement par de la kaolinite (60 à 84%) accompagnée de l'illite (11 à 33%), des traces de chlorite et des interstratifiés qui complètent le cortège argileux. Quant aux minéraux non argileux, ils sont représentés principalement par du quartz (19 à 40 %), suivi parfois de petites quantités de plagioclase, de feldspath potassique, de calcite et de dolomite. Une telle composition est confirmée par des essais géotechniques ayant prouvés le caractère non plastique et non expansif de ces formations.

MOTS CLES: Argiles ; Azzaba ; Sous- numidienne ; Minéralogie ; Géochimie ; Kaolinite.

ABSTRACT

This study focuses on the mineralogical and physic-chemical characterization of under-Numidian clay formations in the Azzaba region (NE Algeria). For that, a sampling operation has been done along of an itinerary about 20 Km beginner of Ain Charchar to the east until Ramdane Djamel towards west. Samples selected from the carrots soundings have been processed and analyzed by conventional analytical methods for characterization of clays and clay minerals as X ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), scanning electron microscope (SEM), infrared microscopy (IR) and geotechnical tests (granulometry, Atterberg limits and swelling).

The results obtained across all sites revealed that these formations are very rich in clay fraction

(30 à 60 %) essentially represented by kaolinite (60 to 84%) accompanied by illite (11 to 33%), traces of chlorite and interstratified which complete the clay procession, for minerals accessory are represented mainly by quartz (19 to 40 %), followed by small amounts of plagioclase, potash feldspar, calcite and dolomite. Such the composition is confirmed by geotechnical tests having proved that the behaviour is not plastic and not expansive of these formations.

KEYWORDS: Stillin Clays; Azzaba; Under Numidian; Mineralogy; Geochemistry; Kaolinite.

1 INTRODUCTION

L'argile est un matériau utilisé depuis la plus haute antiquité et désigne soit un minéral, soit une roche composée essentiellement de minéraux argileux.(Caillière et al., 1982)

Généralement, la définition des argiles est basée principalement sur deux critères, l'un granulométrique, ce sont des particules inférieure à $2\ \mu\text{m}$, l'autreminéralogique (Thorez, 2003), ce sont des silicates phylliteux à semi phylliteux hydratés.

Leur structure phylliteuse et leur finesse, leur confèrent des propriétés spécifiques ce qui a favorisé la diversification de leurs domaines d'applications et les place aux centres d'intérêt de plusieurs spécialistes. Pour les géologues les argiles fournissent des informations sur les conditions environnementales des dépôts et facilitent la reconstitution paléo climatiques. Pour les industriels, les argiles représentent la matière première pour plusieurs branches industrielles. Pour les géotechniciens et les ingénieurs en génie civil, les argiles sont considérées comme étant la référence de prise de décision pour la réalisation des

ouvrages et les calculs des structures y afférents.(Fagel, 2015)

L'objectif de ce travail est la caractérisation des formations argileuses sous numidienne de la région d'Azzaba, afin de déterminer leurs paramètres rhéologiques, minéralogiques, physicochimiques, géotechniques et de vérifier leurs influences sur la réalisation du projet de la voie ferrée Annaba-Ramdane Djamel.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Matériels

2.1.1 Contexte géographique et géologique

La région d'Azzaba qui se trouve au Nord-Est de l'Algérie, appartient à la partie orientale de la chaîne Numidique. Elle se situe au Sud-Est et à 32 Km de la wilaya de Skikda,(Fig.01), à 80 Km au Nord-Est de Constantine et à 67 Km au Sud-Ouest d'Annaba. Occupant une dépression qui relie la plaine d'El Harrouch à celle de Fetzara, elle se localise entre la latitude $36^{\circ}76' 08''$ Nord et $36^{\circ}85'$ Nord et la longitude $7^{\circ}20'$ et $7^{\circ}40'$ Est.

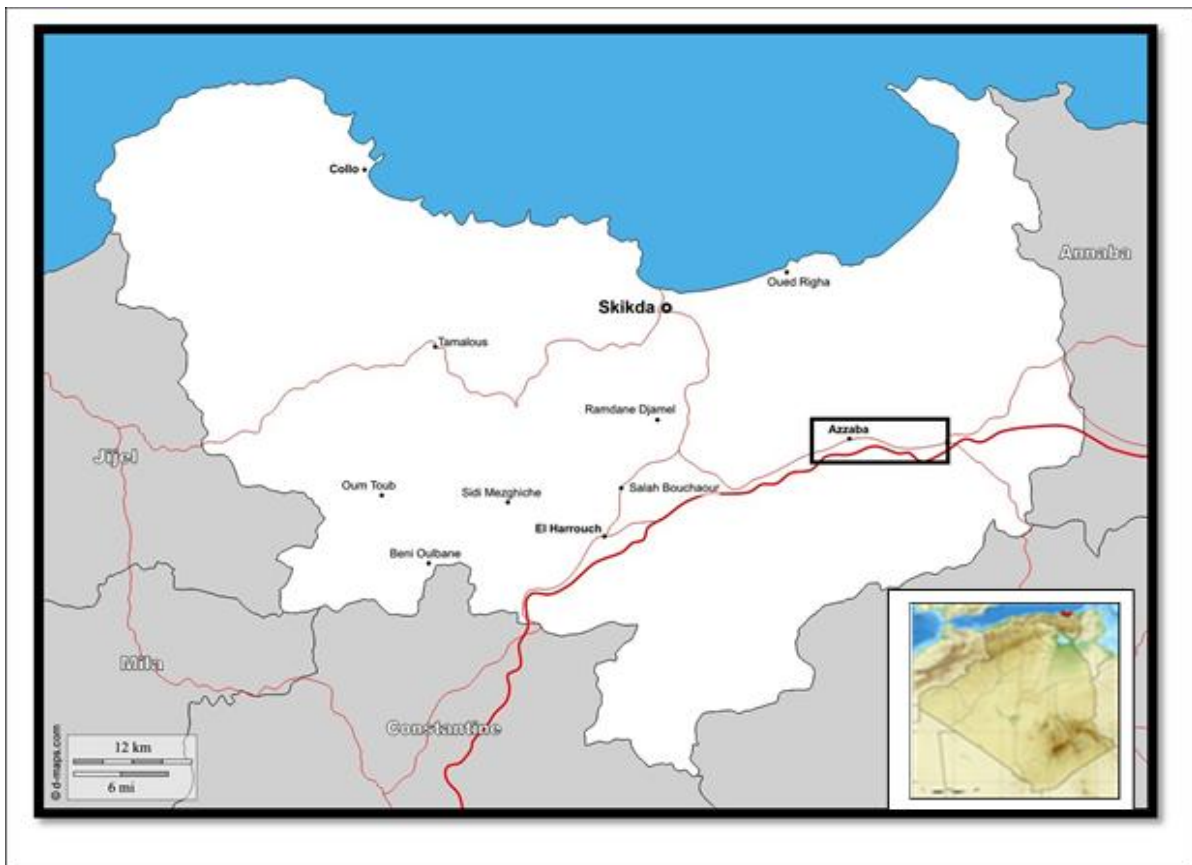


Figure 01: Carte de localisation de la zone d'étude

La zone d'étude appartient au domaine géologique tellien faisant partie de l'atlas tellien. C'est le domaine des grands charriages, appartenant à la chaîne alpine des Maghrébides (Villa, 1978)(Fig. 02).

Le relief est fortement accidenté dont la structure actuelle

est le résultat des derniers mouvements tectoniques compressifs du Cénozoïque et du Quaternaire. Les faciès les plus abondants dans ce site, objet de notre travail, sont essentiellement argileux et se trouvent intercalés avec des grès d'âge Oligo-miocène (Fig. 03).

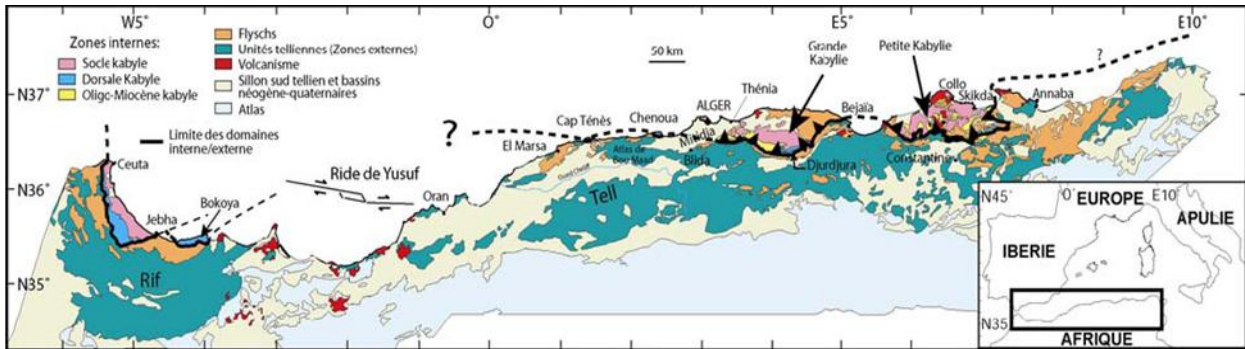


Figure 02: Position des différentes unités géologiques des Maghrébides (Domzig 2006)

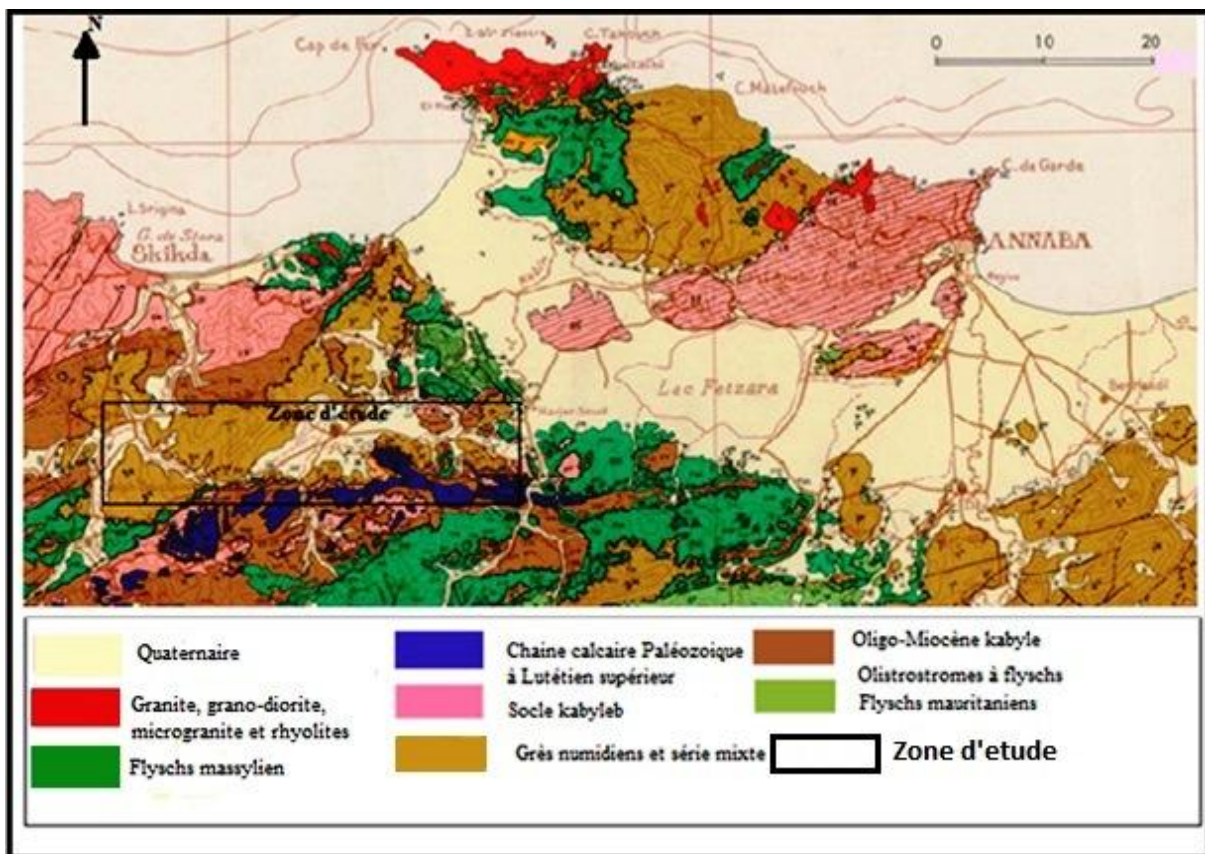


Figure 03: Carte structurale au 1/500 000 de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisien (Villa, 1978)

2.2 Echantillonnage

L'opération d'échantillonnage s'est effectuée le long du tracé du projet de la voie ferrée Annaba-Ramdane Djamel. Les échantillons ont été prélevés à partir des carottes des sondages réalisés dans le cadre du projet suscités aux niveaux des localités (Ain Charchar (ACH), Menzel El Abtal

(MEA), Azzaba (AZZ), Djebel Hellala (HELL) et Djebel Guessaba (GUESS). Le choix des niveaux d'échantillonnage était fait en fonction de la profondeur, la variation de faciès et le niveau d'excavation des tunnels (Fig. 04), (Tableaux 1).

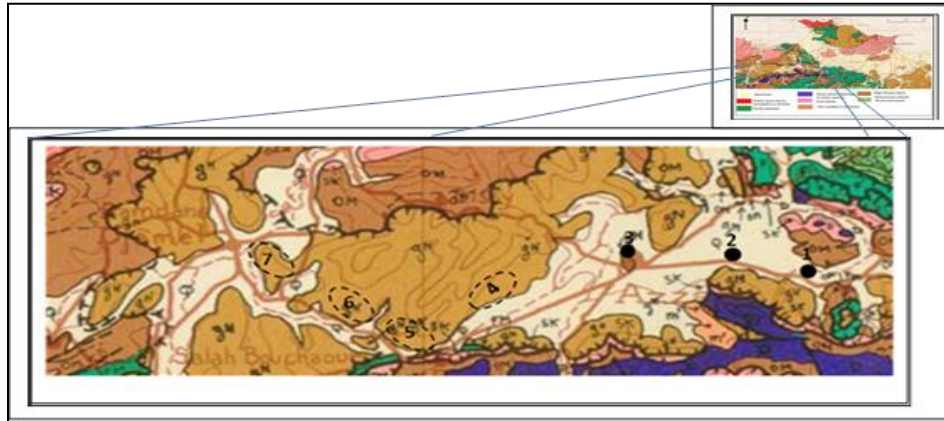


Figure 04 : Carte de localisation des échantillons (sur fond géologique, Villa, 1978)

Table 01: Localisation et description lithologique des échantillons

Site	Code échantillon	Prof (m)	Description
Ain Charchar(ACH)	Ch1	20	Argile grise
MenzelEl Abtal(MEA)	Ch2	14,5	Argile grise à gris verdâtre
	Ch3	19,5	
Azzaba(AZZ)	Ch4	21,5	Argile grise clair
	Ch5	25	
Dj Hellala (HELL)	Ch6	12	Argile grise avec des niveaux marron
	Ch7	27	Argile marron bariolé de jaune clair avec des niveaux noirs
	Ch8	23	Argile grise plus ou moins sableuse
	Ch9	39	Argile dure de couleur marron clair
	Ch10	20	Argile friable de couleur marron jaunâtre
	Ch11	26	Argile marron noirâtre, roche lisse au touché
Dj Guessaba (GUESS)	Ch12	37	Argile brun à gris
	T1S1	7	Argiles grises avec des niveaux jaunâtres
	T1S2	32	Argiles marron avec des niveaux oxydés de couleur foncé jaune et marron chocolaté avec présence de taches noires
	T1S5	11	
	Ch13	13	Argile très tendre de couleur grise bleuâtre
	Ch14	13	Argile très tendre de couleur grise bleuâtre
	Ch15	12	Argile grise avec présence de niveaux blanchâtres (talc ?)
	T2S1	13	argile marron avec des niveaux orange
	T2S2	27	argile gris souris intercalée avec des grès
	T2S6	46	argile grise avec les grès
	T2S8	45	argile marron clair
	T2S10	38	argile grise avec des niveaux marron
	T2S13	26	argile marron clair avec des niveaux oxydés
T2S14	15	argile grise avec des niveaux oxydés	
T2S15	3	grès jaunâtre à aspect sableux	

2.3 Méthodes analytiques

Les échantillons récoltés ont fait l'objet d'une analyse minéralogique totale (poudre désorientée) et d'une analyse de la minéralogie de la fraction argileuse (< 2 µm) sur lames orientées, selon la méthode de Moore et Reynolds (1989). Ces analyses ont été effectuées par diffraction des rayons X à l'aide d'un diffractomètre Brucker D8 - Advance à anticathode de cuivre utilisant le rayonnement K α 1 du cuivre ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), (Unité de Recherche Argiles, Géochimie et Environnement Sédimentaires «AGEs» de l'Université de Liège). La vitesse de mesure du goniomètre est de 0,6s/pas, vitesse de rotation 2° 2 θ /min, couvrant une gamme angulaire "2 θ " allant de 2° à 45°, pour le cas des lames désorientées, et de 2° à 30° pour les lames orientées (Spectre normal. «N» de 2° à 30° 2 θ ; Spectre solvaté. «EG» de 2° à 23° 2 θ , Spectre chauffé à 500° C. «H» de 2° à 15°).

La détermination qualitative de l'argile totale a été basée sur le repérage des réflexions principales (001), caractéristiques de chaque minéral, en se basant sur le logiciel DIFFRAC Plus Release 2000-EVA 6.0 et les données fournies par les fiches PDF (Powder Diffraction File).

L'estimation semi-quantitative (Cook et al., 1975 ; Boski et al., 1998 ; Fagel et al., 2007) est obtenue en multipliant l'intensité mesurée de réflexions caractéristiques de chaque minéral par un facteur correctif (FC) (Cook et al., 1975 ; Brown et Brindley, 1980).

Quant au cortège argileux, la détermination qualitative a été basée sur la comparaison de la position relative et de l'intensité des réflexions spécifiques entre les trois spectres normal, solvaté et chauffé.

L'estimation semi-quantitative du cortège argileux a été obtenue par la multiplication de l'intensité des réflexions spécifiques, généralement mesurée sur le spectre EG (Fagelet Boës, 2008 ; Fagel et al., 2007) par un facteur correctif (Biscaye, 1965).

L'analyse chimique des éléments majeurs a été réalisée sur perle au borate de Li à l'aide d'un spectromètre ARL 9400 XP XRF (URPGE, Université de Liège).

Les Analyses par spectrométrie infrarouge ont été effectuées

au Laboratoire de Cristallographie, au Département de Géologie ULg. Les spectres infrarouges couvrant le domaine 400-4000 cm⁻¹ ont été enregistrés sur un spectromètre Nicolet NEXUS, à partir de 2 mg d'échantillon dilué dans une pastille de 150 mg de KBr.

Les observations au microscope électronique à balayage (MEB) ont été réalisées à l'aide d'un appareil de type "FEG - ESEM XL30" du fabricant FEI. Les images ont été obtenues par un détecteur d'électrons secondaires, après métallisation des poudres au charbon par pulvérisation et la tension d'accélération est de 15,0 kV.

La détermination des limites d'Atterberg a été effectuée au laboratoire de Géo technologie, ULg. Selon la méthode d'essai LPC N° 19 qui comporte deux phases :

- Recherche de la limite de liquidité à l'aide de l'appareil de Casagrande

- Recherche de la limite de plasticité par la formation des boudins de 3 mm de diamètre

L'Analyse granulométrique a été effectuée au niveau du Laboratoire Voix et Béton « LVB » Annaba ; selon la norme NF X 11-501 préconisant des tamis d'ouverture (en mm) : 0,08-0,16-0,32-0,63-1,25-2,5-5,0.

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Caractérisation minéralogique

Le dépouillement des diffractogrammes de tous les échantillons analysés par DRX a montré que ces échantillons sont très riches en fraction argileuse (30% à 66%) et dont le minéral le plus abondant est la kaolinite (60 à 90%), accompagnée essentiellement de l'illite (02% à 33%) et parfois des traces de chlorite, smectite, vermiculite et des interstratifiés qui complètent le cortège argileux (Fig.05). Les minéraux non argileux sont représentés majoritairement de quartz (12% à 52%) associé auxiliairement à des traces de plagioclases, de sidérite, d'hématite, de calcite et de dolomite (Fig.06). La légère hétérogénéité minéralogique marquée d'un site à l'autre est probablement liée à la profondeur de prélèvement des échantillons et au processus génétique de l'argilo-genèse contrôlant l'évolution des minéraux argileux (Thorez, 2003).

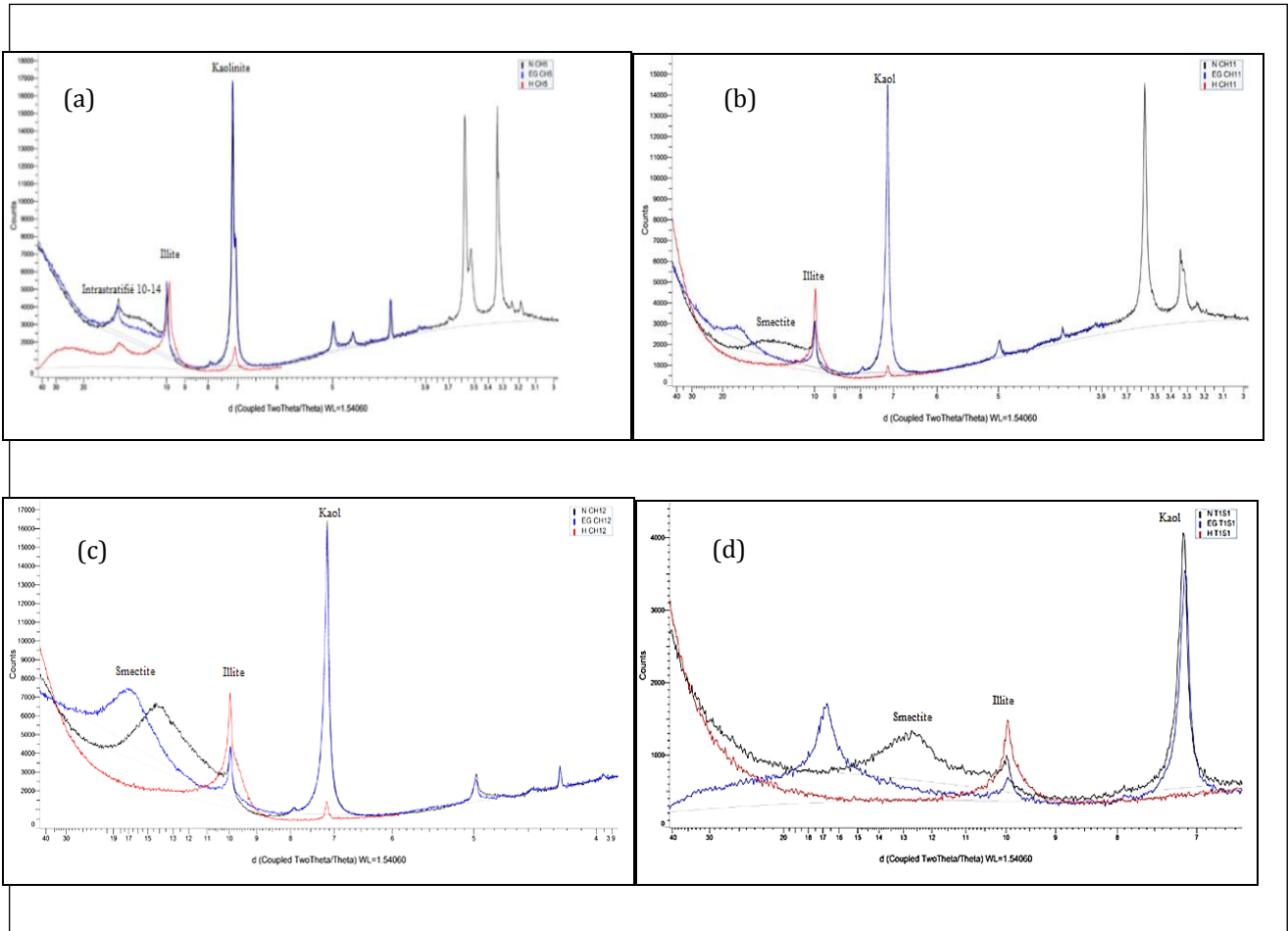


Figure 05: Diffractogrammes de la fraction argileuse avec différents traitements

N EG H (a) : Ech. 05 , (b) : Ech. 11 , (c) : Ech. 12 (d) : Ech. T1S1

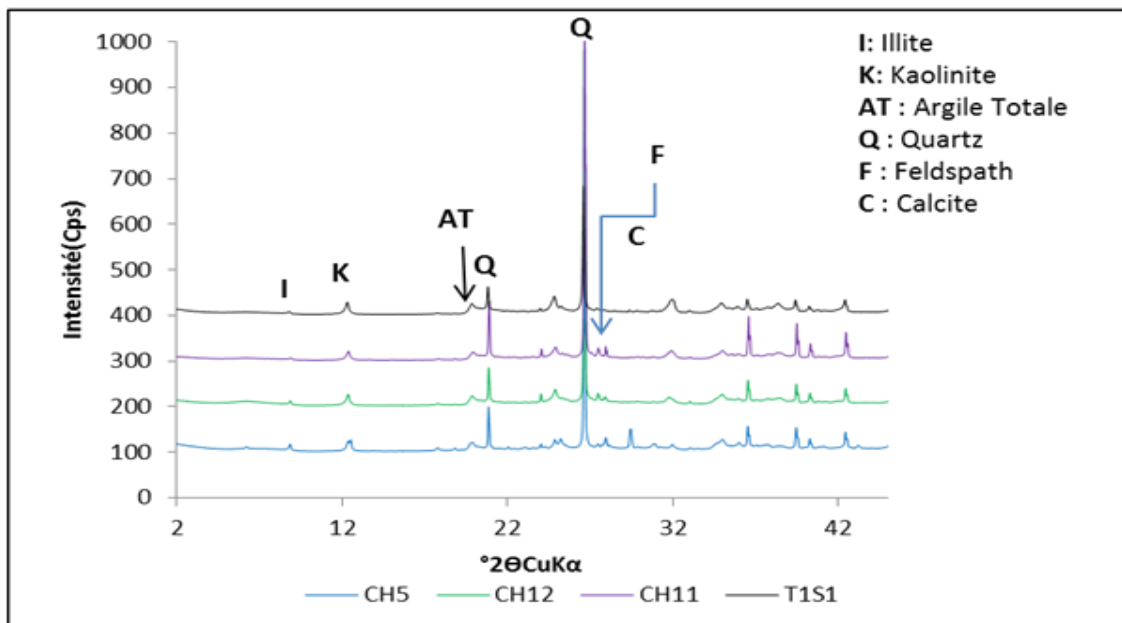


Figure 06: Diffractogrammes de l'argile totale

Table 02: Composition minéralogique des échantillons de la région d'Azzaba

Site et Nom d'échantillon	Minéralogie de brute (poudre) %									Minéraux argileux (fraction argileuse <2µm) %					
	Muscovite 2,56	Quartz 3,34	Minéraux Argileux 4,6	Plagioclase 3,21	Feldspath 3,26	Sidérite 2,8	Hématite 2,71	Calcite 3,03	Dolomite 2,9	Kaolinite 7	Illite 10	Chlorite 14	Inter Stratifié (10-14)	Smectite 17	Vermiculite 17
	Facteurs correctif pour chaque minéral														
	(6,00) Cook et al. (1975)	(1,00) Cook et al. (1975)	(20,00) Boski et al. (1998)	(2,80) Cook et al. (1975)	(4,30) Cook et al. (1975)	(1,15) Cook et al. (1975)	(3,33) Cook et al. (1975)	(1,65) Cook et al. (1975)	(1,53) Cook et al. (1975)	(0,70) Fagel et al. (2007)	(1,00) Fagel et al. (2007)	(0,34) Fagel et al. (2007)	(0,40) Fagel et al. (2007)	(0,25) Fagel et al. (2007)	(0,34) Fagel et al. (2007)
ACH	Ch1	16	37	39	5	-----	-----	-----	-----	-----	67	23	5	5	-----
MEA	Ch3	17	31	38	3	-----	traces	-----	9	traces	75	17	-----	2	-----
AZZ	Ch4	15	32	41	3	2	traces	-----	4	2	60	33	3	4	-----
HEL	Ch5	9	36	41	6	4	-----	-----	5	2	67	25	4	2	-----
	Ch6	9	29	53	-----	3	3	traces	-----	traces	63	32	-----	5	-----
	Ch7	13	31	47	-----	5	2	2	-----	traces	75	22	-----	2	-----
	Ch8	14	12	66	2	2	5	traces	traces	-----	80	17	-----	3	-----
	Ch9	8	20	63	traces	3	4	2	-----	-----	79	17	-----	4	-----
	Ch10	11	31	49	traces	3	2	2	-----	-----	67	27	-----	-----	-----
	Ch11	18	46	31	2	5	traces	-----	-----	-----	73	24	-----	-----	3
GUE SS	Ch12	13	42	37	2	5	traces	traces	-----	-----	75	19	-----	-----	6
	T1S1	9	28	55	traces	3	3	traces	traces	traces	75	21	4	-----	4
	T1S2	9	39	44	-----	5	3	traces	-----	-----	72	23	-----	4	-----
	T1S5	9	29	54	2	3	2	traces	-----	-----	79	15	-----	5	-----
	Ch13	7	35	37	4	4	-----	-----	7	6	90	2	3	2	-----
	Ch14	7	39	43	4	3	-----	-----	3	-----	72	12	11	5	-----
	Ch15	9	40	43	traces	6	traces	-----	traces	-----	84	3	6	6	-----
	T2S1	7	31	53	traces	5	2	-----	-----	-----	82	14	-----	4	-----
	T2S2	13	32	51	traces	3	-----	-----	-----	-----	79	16	-----	4	-----
	T2S6	11	21	63	traces	4	-----	-----	traces	-----	67	28	-----	5	-----
	T2S8	7	42	41	traces	7	3	-----	-----	-----	81	15	-----	4	-----
	T2S10	5	52	30	2	7	2	-----	-----	2	70	26	-----	4	-----
	T2S13	5	50	30	3	10	traces	-----	-----	-----	72	22	-----	5	-----

3.2 Caractérisation physico chimique

3.2.1 Composition chimique

Les résultats d'analyse chimique exprimés en pourcentage massique mentionnés dans le tab.03, montrent pour la quasi-totalité des échantillons, des fortes teneurs en SiO₂ et Al₂O₃ liés principalement à la prédominance de la Kaolinite et du quartz, des teneurs représentatives en K₂O

indiquant la présence des quantités remarquables d'illite et des feldspaths potassiques et des teneurs faibles pour le reste des oxydes et qui reflètent les faibles pourcentages en minéraux accessoires tel que les oxydes et carbonate de fer (hématite et sidérite), les carbonates de calcium (calcite et dolomite) et les minéraux argileux qui complètent le cortège argileux (smectite, interstratifiés, chlorite).

Table 03: résultats de l'analyse chimique

Eléments	ACH	MEA			AZZ		HELL						GUESS		
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8	Ch9	Ch10	Ch11	Ch12	Ch13	Ch14	Ch15
SiO ₂	48,0 8	51,8 6	47,6	50,8 1	50,2 5	42,6 5	43,6 5	43,0 7	39,3	47,6 2	51,99	29,47	42,13	48,3	45,84
Al ₂ O ₃	19,0 2	18,8 7	18,8 7	19,7	18,4 5	18,7 6	20,0 3	22,6	19,5 4	18,5 8	19,34	12,67	18,88	17,42	19,6
Fe ₂ O ₃	8,11	7,25	5,85	8,58	8,29	8,53	17,6 8	9,79	8,44	7,85	9,83	5,44	7,02	6,49	7,38
CaO	0,57	0,77	2,94	3,45	4,01	1,21	1,24	1,09	1,05	2,94	0,83	0,64	2,13	1,09	1,18
K ₂ O	2,98	1,91	2,15	3,02	3,14	1,42	1,96	1,94	1,42	2,11	1,79	1,66	2,13	2,1	1,96
TiO ₂	0,88	1,21	1,23	1,12	1,18	1,15	1,31	1,4	1,29	1,22	1,33	0,78	1,28	0,98	1,03
MgO	2,00	1,68	1,84	2,52	2,29	1,3	1,26	1,49	1,18	1,84	1,61	1,1	1,95	2,45	1,94
MnO	0,06	0,06	0,05	0,07	0,08	0,06	0,09	0,12	0,08	0,04	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03
P ₂ O ₅	0,06	0,12	0,18	0,22	0,16	0,2	0,19	0,16	0,18	0,17	0,14	0,07	0,13	0,12	0,29
SO ₃	0,24	0,57	0,62	0,32	0,52	0,52	0,96	0,44	0,47	0,62	0,6	0,65	0,2	0,34	0,33
Na ₂ O	----	----	----	----	1,14	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
LOI	17,1 9	15,2 7	15	9,52	9,9	23,7 7	10,7 9	17,5	26,6	16,2 4	13,05	47,4	23,9	20,04	20,27
Somme	82	84,3	78,1	89,8 1	89,5 1	75,8	88,3 7	82,1	72,9 5	80,8 8	87,52	52,52	75,88	79,32	79,58
CaO+Mg O	2,57	2,45	4,78	5,97	6,30	2,51	2,50	2,58	2,23	4,78	2,44	1,74	4,08	3,54	3,12
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,52	2,74	2,56	2,57	2,72	2,27	2,17	1,90	2,01	2,56	2,68	2,32	2,23	2,77	2,33

3.2.2 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

Les résultats de déchiffrement des spectres obtenus par infrarouge confirment les données de l'analyse

minéralogique avec prédominance de la kaolinite et du quartz ce qui traduit clairement par la présence des bandes « 3697 et 3620 cm⁻¹ » caractéristiques de la kaolinite, et les bandes 796 et 694 cm⁻¹ correspondent aux vibrations du réseau de quartz. (Fialips et al., 2000). (Fig. 07).

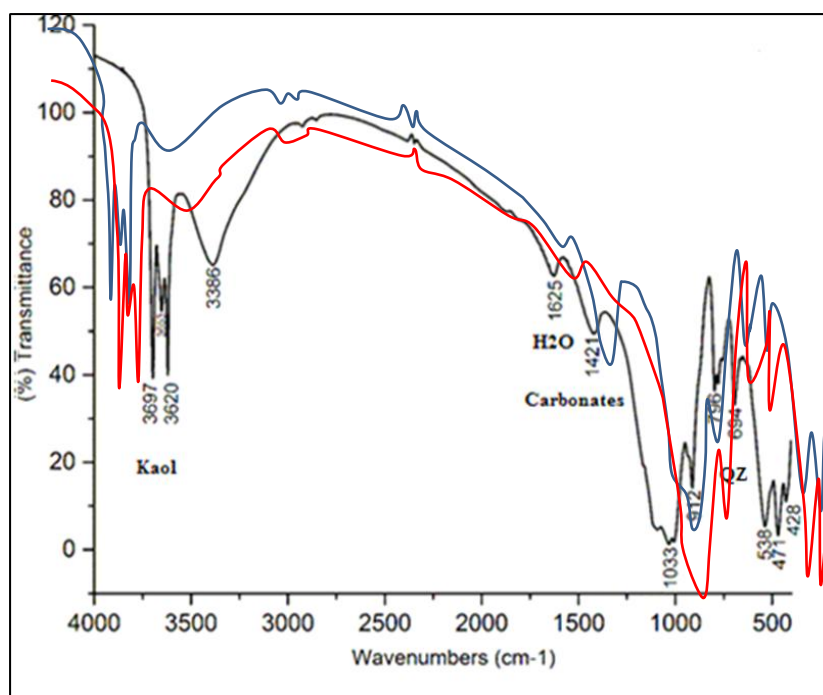


Figure 07: Spectres FTIR des échantillons T2S1, T2S2 et T2S14

3.2.3 Analyse morpho structurale

Les photos MEB montrent des formes en plaquettes brillantes reportant à des particules de quartz et des cristaux de kaolinite mal cristallisés (en amas dont la longueur avoisine 2 à 7 µm) qui dominent à première vue, montrant des morphologies irrégulières s'empilent généralement de façon désordonnée généralement en formes pseudo-hexagonales associés à des cristaux de quartz. (Figs.08,09).

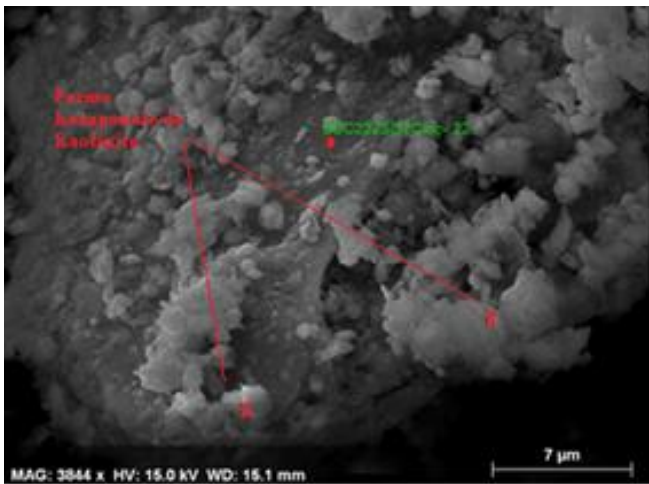


Figure 08: Analyse par microscopie électronique à balayage de l'échantillon T2S8



Figure 09: Analyse par microscopie électronique à balayage de l'échantillon T2S8

3.2.4 Analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique, résumés dans le Tab.04 reflète d'une façon directe la variation de la composition minéralogique des échantillons analysés d'un site à l'autre et notamment le pourcentage de la fraction argileuse et le taux du quartz. Le pourcentage du gravier présent peut être expliqué par la présence de la muscovite sous sa forme habituelle en paillette. Et par conséquent ces échantillons sont classés comme des argiles sablonneuses avec des traces de gravier (Fig. 10, 11 et 12).

Table 04: Résultats de l'analyse granulométrique

Sites/mesures	AC-MEA	AZZ	Hell-Guess
Pourcentage de fin %	65	68,91	77
Pourcentage de sable %	23	23,1	15
Pourcentage de gravier %	12	8,3	8

Les résultats de l'analyse granulométrique, résumés dans le Tab.04 confirment l'aspect gréseux des formations étudiés. La légère variation entre les sites d'Ain Charchar (AC), Menzel El Abtal (MEA) et d'Azzaba (AZZ) d'une part et le site de Hellala-Guessaba (Hell-Guess) d'autre part est lié probablement à la profondeur d'échantillonnage ainsi qu'aux processus d'altération de la roche mère et le degré de lessivage contrôlé par les conditions hydrogéochimiques et géomorphologiques (Fig. 10, 11 et 12).

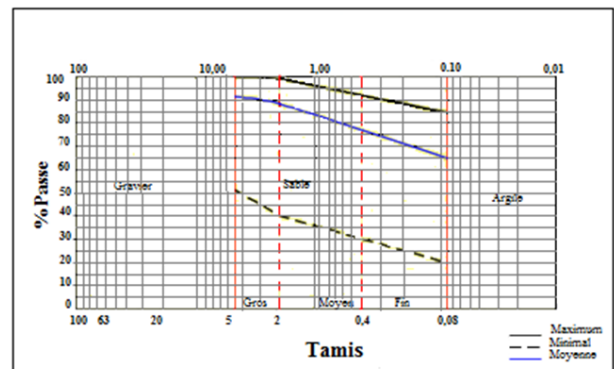


Figure 10: Courbe granulométrique des échantillons du site d'Ain Charchar (AC) et Menzel El Abtal (MEA)

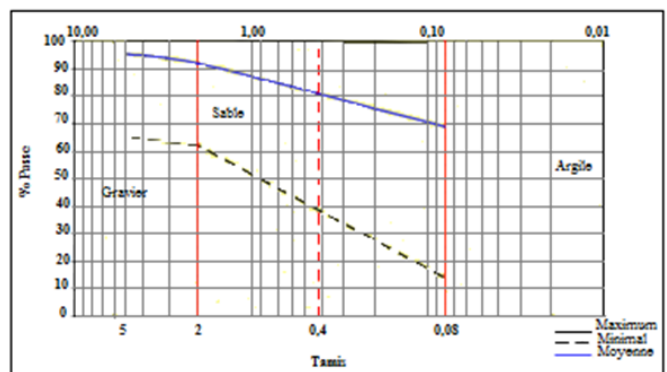


Figure 11: Courbe granulométrique des échantillons du site d'Azzaba (AZZ)

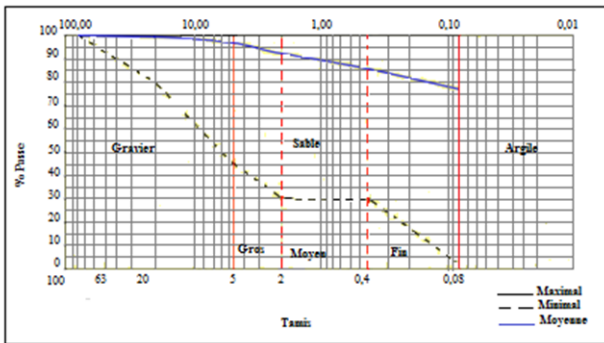


Figure 12 : Courbe granulométrique des échantillons du site Hellala-Guessaba (Hell-Guess)

Limites d’Atterberg :

La limite de liquidité et la limite de plasticité (Atterberg,1905)connues sous le nom des limites d’Atterberg sont deux caractéristiques de grande importance en géotechnique et en mécanique de sol, car elles déterminent la sensibilité d’un sol aux modifications de sa teneur en eau et par conséquent elles contrôlent le degré de stabilité des ouvrages.

L’indice de plasticité, noté IP, qui s’exprime par la relation

$IP = WL - WP$. Est le paramètre le plus couramment utilisé pour caractériser l’argilosité des sols.

La projection des différents échantillons de tous les sites étudiés dans les diagrammes de plasticité de Casagrande(1947,1953), Casagrande remanié par Jones etHoltz(1973)et Casagrande avec Position des minéraux argileux (Mitchell, 1976) qui représentent l’évolution de l’indice de plasticité IP en fonction de la limite de liquidité WL(Fig. 13,Tab.05)confirme les données de la compositionminéralogique et les résultats de l’analyse granulométrique et permet de classer le classement de ces échantillons dans la classe des sols limono-argileux de faible à moyenne plasticité.

Table 05: Les limites d’Atterberg

Sites/mesures	AC-MEA	AZZ	Hell-Guess
Limite de liquidité W_L %	38,2	35,6	46,4
Limite de plasticité W_P %	20,01	19,4	24,8
Indice de plasticité I_p %	18,3	17	21,5

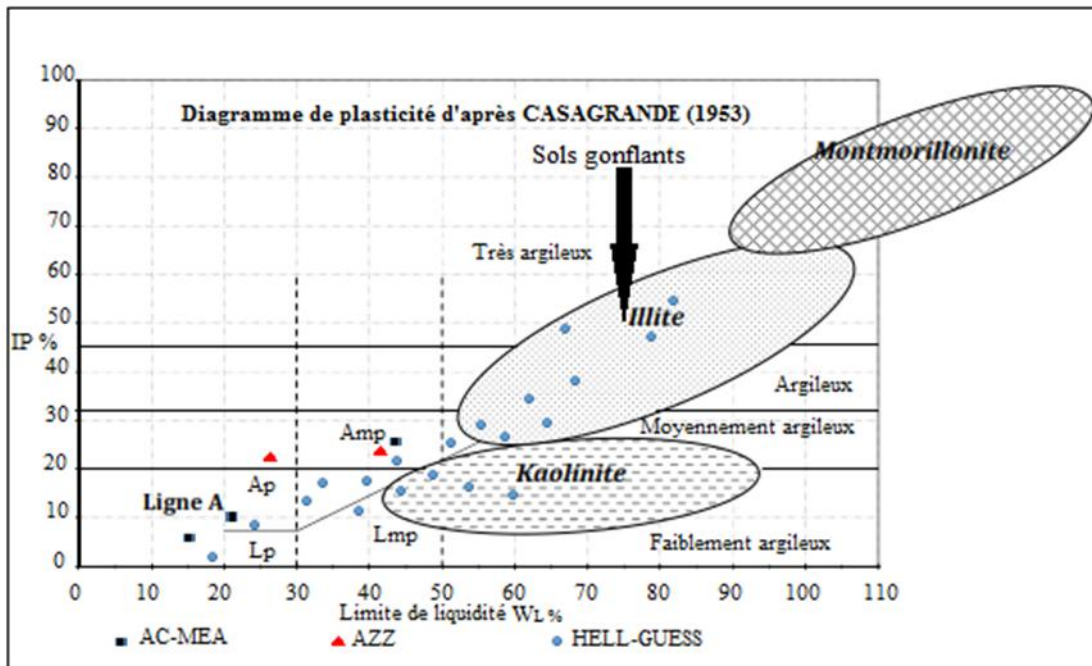


Figure 13 : Position des minéraux argileux dans le diagramme de Casagrande remanié par Jones et Holtz, (1973) et Mitchell, (1976)

Capacité de gonflement

D’après le graphique de gonflement, (Oteo ,1986),on observe que plus de 80% des échantillons sont situés dans la zone I (avec un degré de gonflement nul) tandis que le reste des échantillons se trouve dans la zone où le degré de

gonflement est compris entre moyen et haut (Fig.14). Il ressort donc que la zone «HELL-GUESS» montre un potentiel expansif justifié par le pourcentage relativement élevé de la fraction argileuse d’un côté et la présence des traces des interstratifiés illite –smectite et de la smectite dans les échantillons ch11, ch12, T1S1 (tableau 3).

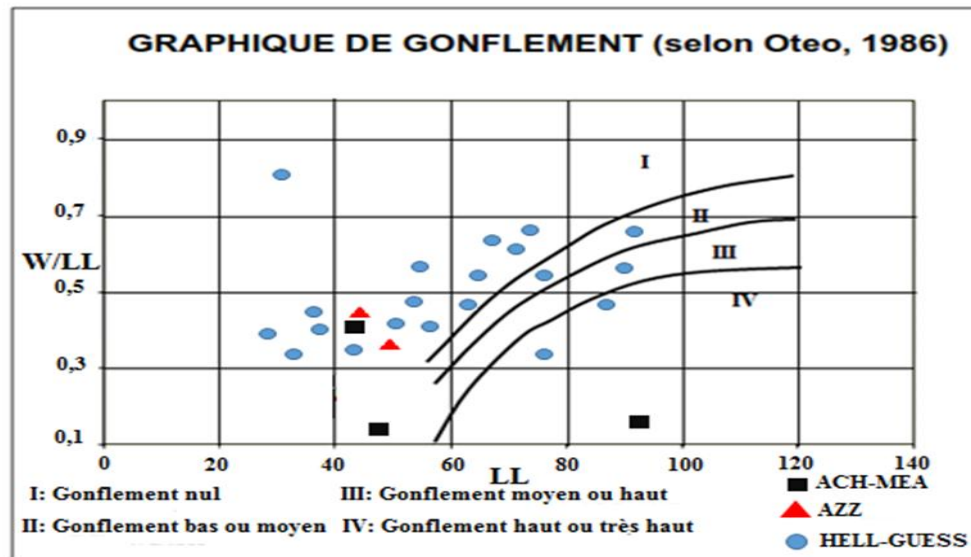


Figure 14 : Graphique de gonflement pour chaque site

De l'ensemble d'analyse des résultats obtenus par les différentes méthodes analytiques utilisées dans cette étude, il ressort que les formations concernées par cette étude se sont des formations argileuses kaoliniques légèrement sablonneuses de faible plasticité et d'expansivité nulle.

4 CONCLUSION

Cette étude a permis de déterminer la composition minéralogique, géochimique et les paramètres géotechniques des formations argileuses de la région d'Azzaba. Les résultats de la caractérisation minéralogiques par les différentes méthodes classiques ont montré que ces formations ont une paragenèse à dominance essentiellement kaolinique associée à du quartz, de l'illite, et de feldspath-K accompagnée accessoirement de chlorite, de smectite, interstratifiés (10-14), des plagioclases, de la calcite de la sidérite, et de l'hématite sous forme de traces. Par ailleurs, la proportion importante de kaolinite ainsi que la présence de l'illite et du quartz confirme le caractère acide des roches du milieu environnant.

Les teneurs en alcalino-terreux (CaO, et MgO) sont relativement faibles (2,4 à 3,76)%. Ces éléments sont probablement issus des roches métamorphiques (gneiss et micaschistes) constituant le socle de la région.

Les rapports massiques SiO₂/Al₂O₃ sont autour de 2 à 7%, suggérant la présence d'une quantité importante de silice libre qui s'explique par l'abondance du quartz observé dans les spectres de DRX ; cette silice libre est due à un apport détritique assez important dans ces argiles. L'absence ou la présence sous forme de trace de sodium (Na₂O) (0 à 1,99)% et la faible teneur en potassium (K₂O) (1,34 à 3)% suggèrent un lessivage des minéraux primaires (Plagioclases et feldspaths potassiques) pendant la mise en place des formations argileuses.

Les résultats de l'analyse géotechnique montrent que les

formations argileuses sous numidiennes sont généralement altérées et transformées en sol ; sont légèrement sablonneuses avec des traces de graviers. Elles sont de faible plasticité et d'expansivité nulle. Les analyses chimiques montrent une faible teneur en matière organique et en sulfate qui ne provoquent aucune agressivité sur le sol.

REFERENCES

- [1] ASTM.(1998). American Society for Testing Materials, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM D – 422-63.
- [2] ASTM .(1972). American Society for Testing and Materials, Water absorption, bulk density, apparent porosity, and apparent specific gravity of fired white ware products, C 373-72.
- [3] ASTM.(1977). American Society for Testing and Materials, Flexural properties of ceramic whiteware materials, C 674-77.
- [4] ASTM (2000). American Society for Testing Materials Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ASTM D-4318.
- [5] Atterberg .(1905). Die rationelle Klassifikation der sande und kiese. Chemikerzeitung 29, 195- 198.
- [6] Biscaye, P.E.(1965). Mineralogy and sedimentation of the recent deep-sea sediment fine fraction in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. Bulletin of the Geological Society of America, 76, 803-832.
- [7] Boski, T., Pessoa J., Pedro P., Thorez, J., Dias, J.M.A. et Hall, I.R. (1998). Factors governing abundance of hydrolysable amino acids in the sediments from the N.W. European Continental Margin (45-50°N). Progress in Oceanography, 42, 145-164.
- [8] Brown, G., Brindley, G.W. (Eds).(1980). Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification. Min. Soc., London, 5, 475 p.
- [9] Caillère, S., Henin, S. et Rautureau, M. (1982) :

- Minéralogie des argiles. Structures et propriétés physico-chimiques. Masson Ed.
- [10] Casagrande, A.(1947).Classification and identification of soils. American Society of Engineers, 73, 783-811
- [11] Casagrande , A. (1953). Electro-osmosis in soils, Géotechnique, n°1, vol. 3, pp. 159-177
- [12] Cook, H.E., Johnson, P.D., Matti, J.C. etZemels, I. (1975). Methods of sample preparation and X-ray diffraction data analysis in: X-Ray mineralogy laboratory. Pp. 997-1007 in : Initial Reports of the DSDP (A.G. Kaneps, editor); Printing Office, Washington, DC.
- [13] Domzig, A.(2006).Déformation active et récente, et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine algérienne 16-17p.
- [14] Fagel, N., (2015)." Cours Géologie des argiles ", Département Géologie, Université de Liège. Belgique.
- [15] Fagel, N.,etBoës,X. (2008).Clay-mineral record in Lake Baikal sediments: The Holocene and Late Glacial transition. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 259, 230-243.
- [16] Fagel, N., Thamo-Bozso Heim, B. (2007). Mineralogical signatures of Lake Baikal sediments: Sources of sediment supplies through late Quaternary. SedimentaryGeology, 194.37-59.
- [17] Fialips, C.I., Petit, S., Decarreau,A. (2000).Hydrothermal formation of kaolinite from various metakaolins.Clay Minerals, 35, 559-572.
- [18] Jones, D.E., Holtz ,W.G. (1973).Expansive Soils – the Hidden Disaster, Civil Engineering, vol. 43,n°8, pp. 49-51
- [19] Mitchell, J.K. (1976).Fundamentals of soil behavior, 1ère édition, John Wiley and sons, New York,437 pp.
- [20] Moore, D.M., Reynolds, R.C.(1989). X-Ray Diffraction and the identification and Analysis of Clay Minerals.Oxford University Press, Oxford (332pp).
- [21] Oteo, C.,Santacruz, M.y.,Moya, J. F. (1986). Behaviour of the cast-insitu walls in the Sevilla Metro, Int. Symp. On Large UndergroundOpenigs. I.T.A. Florence.
- [22] Thorez, J. (2003). L'argile, minéral pluriel. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège. Vol. 72,1, 19-70.
- [23] Vila, J.M. (1978). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro - tunisiens. Thèse ès Sci. Paris VI,665 p.